



PC RU 00/00209

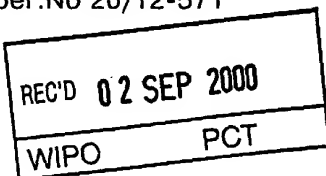


РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ
(РОСПАТЕНТ)

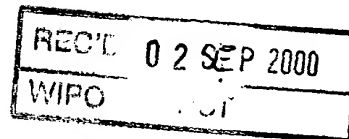
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ

рег. No 20/12-571

"14" августа 2000 г.



СПРАВКА



Федеральный институт промышленной собственности Российского агентства по патентам и товарным знакам настоящим удостоверяет, что приложенные материалы являются точным воспроизведением первоначального описания, формулы и чертежей (если имеются) заявки на выдачу патента на изобретение № 2000107025, поданной в марте месяце 23 дня 2000 года (23.03.2000).

RU 00/00209 4

Название изобретения

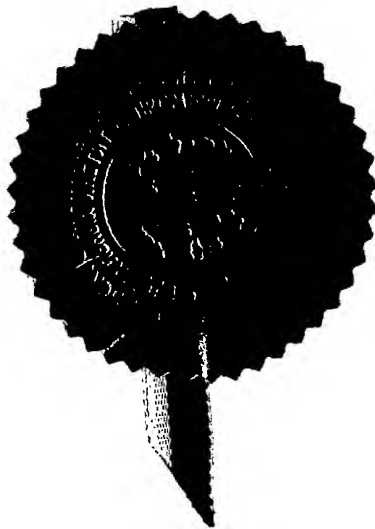
Вискерный микрозонд для магнитных измерений и способ его изготовления

Заявитель

Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственное предприятие Кристаллы и Технологии"

Действительный автор(ы)

ГИВАРГИЗОВ Евгений Инвиевич
БУХАРАЕВ Анастас Ахметович
ОВЧИННИКОВ Денис Владимирович
СТЕПАНОВА Алла Николаевна
ГИВАРГИЗОВ Михаил Евгеньевич



**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Уполномоченный заверить копию
заявки на изобретение

Г.Ф.Востриков
Заведующий отделом

1
2000107025

ВИСКЕРНЫЙ МИКРОЗОНД ДЛЯ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Е.И.Гиваргизов, А.А.Бухараев, Д.В.Овчинников, А.Н.Степанова и М.Е.Гиваргизов

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к материаловедению, в особенности электронному, в частности к микроэлектронике, к прецизионному инструментарию для научных и производственно-технологических исследований, к диагностике магнитных материалов и приборов, и состоит в конструировании и создании острийных зондов для обнаружения и измерения магнитных сил, возникающих при взаимодействии магнитных тел с размерами и на расстояниях, приближающихся к атомным.

ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Известны способы измерения магнитных свойств и сил посредством зондовых приборов таких как сканирующий зондовый микроскоп. Важнейшим компонентом такого прибора, определяющим его разрешающую способность и чувствительность, является микрозонд, изготовленный, по крайней мере, частично, из магнитного материала.

Обычно основу – кантилевер с острием – для магнитного микрозонда изготавливают из не-магнитного материала, а на острие наносят магнитный материал [1].

Один из вариантов нанесения частицы магнитного материала состоит в локальном осаждении тонкой магнитной (например, кобальтовой, никелевой, или железной) пленки испарением на вершину острия, нагреваемой сфокусированным пучком электронов [2,3].

Однако, такая пленка страдает тем недостатком, что этот магнитный материал состоит из множества зерен, между тем как наилучший результат обеспечивается монокристаллической частицей, поскольку она имеет максимальный магнитный момент.

В предлагаемом изобретении указанный недостаток устраняется.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Предлагается микрозонд для магнитных измерений, в котором не-магнитная основа образована кремниевым острием, выращенным эпитаксиально на кремниевом кантилевере с кристаллографической ориентацией (111), острие имеет ступенчатую форму с нижней частью (основанием) большего диаметра и верхней частью меньшего диаметра, коаксиальной и эпитаксиальной по отношению к нижней части, верхняя часть имеет плоскую вершину, на которой расположена монокристаллическая магнитная частица треугольной формы с углом при её вершине от 20° до 90° , причем основание частицы контактирует с плоской вершиной (торцом) кремниевого острия.

Диаметр нижней части кремниевого острия превосходит диаметр его верхней части не менее чем на порядок величины, причем диаметр нижней части составляет от 5 до 10 микрометров.

Верхняя часть кремниевого острия имеет цилиндрическую, призматическую, или коническую форму с диаметром менее 100 нанометров и высотой менее 2 микрометров.

Предлагается способ изготовления микрозонда для магнитных измерений, который состоит в том, что осаждением из газовой фазы по механизму пар-жидкость-кристалл выращивают нитевидный кристалл кремния ступенчатой формы. Особенность этого способа состоит в образовании на вершине нитевидного кристалла полусферической глобулы сплава кремния с металлом-растворителем. По завершении процесса осаждения нитевидного кристалла удаляют с его вершины закристаллизовавшуюся глобулу, причем образуется плоская вершина (торец) верхней части острия. Затем на торец напыляют в вакууме вдоль оси острия частицу магнитного материала, заостряют частицу бомбардировкой направленным пучком ускоренных ионов и подвергают её монокристаллизации.

Монокристаллизацию проводят выдерживанием магнитной частицы в постоянном магнитном поле определенного направления, причем монокристаллизация может быть проведена при повышенной температуре магнитной частицы. Нагрев магнитной частицы может быть осуществлен пропусканием автоэмиссионного тока через кремниевое острие.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ФИГУР

Фиг. 1. Исходное кремниевое острие, служащее основой для магнитного микрозонда.

Фиг. 2. Кремниевое острие, покрытое магнитной частицей.

Фиг. 3. Кремниевое острие, покрытое заостренной магнитной частицей.

Фиг. 4. Кремниевое острие с магнитной частицей, подвергнутой монодоменизации в присутствии магнитного поля.

ЛУЧШИЙ ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

На Фиг. 1 показано исходное кремниевое острие, служащее основой для магнитного микрозонда. Для его создания на кремниевом кантилевере с кристаллографической ориентацией (111) выращивают, в двухстадийном процессе, нитевидный кристалл, имеющий нижнюю часть (основание) со сравнительно большим (5-10 мкм) диаметром и эпитаксиальную по отношению к нему верхнюю часть со значительно меньшим (до 10 нанометров) диаметром. Выращивание проводят из газовой фазы по механизму пар-жидкость-кристалл.

Пример 1.

На кремниевый кантилевер ориентации (111) наносят частицу золота диаметром 5 мкм, толщиной 0,1 мкм и помещают его в кварцевый реактор, через который пропускают поток очищенного водорода. Кантилевер нагревают до температуры 900-950°C, после чего к водороду добавляют пары четыреххлористого кремния до концентрации 2-3 ат. %. В процессе выращивания на последней стадии снижают температуру кантилевера. За 5-10 мин вырастает ступенчатый нитевидный кристалл кремния на участке кантилевера, покрытом частицей золота. На его вершине остается закристаллизовавшаяся «глобула» (полусфера), образованная смесью кристаллитов кремния и золота. С помощью жидких растворителей указанных элементов «глобулу» удаляют, в результате чего образуется кремниевое острие с плоской вершиной, показанное на Фиг. 1.

На плоскую вершину изготовленного таким путем кремниевого острия напылением в высоком вакууме наносят магнитную частицу (железа, кобальта, или никеля) цилиндрической формы (Фиг. 2). Если эта частица имеет высоту 50 нм (нанометров) и диаметр 100 нм, то величина градиента силы магнитного взаимодействия на расстоянии от частицы 50 нм будет $1,5 \times 10^{-1}$ Н/м, а разрешающая способность составляет 85 нм (в данном случае для цилиндра удельная намагниченность была выбрана как у железа, а полный магнитный момент был направлен вдоль оси зонда).

Цилиндрическую частицу можно превратить в коническую посредством ионной бомбардировки ускоренным пучком ионов аргона или азота, направленным вдоль оси зонда.

Пример 2.

На вершину кремниевого острия, покрытого магнитной частицей, вдоль его оси, направляют поток ионов аргона или азота, ускоренных до энергий в интервале 5-10 кэВ. В результате ионной бомбардировки образуется магнитная частица с углом при вершине от 20° до 90° , показанная на Фиг. 3.

Для случая частицы конической формы (диаметр основания конуса 100 нм, высота 50 нм, угол при вершине 90°) градиент силы магнитного взаимодействия составляет $7,4 \times 10^{-2}$ Н/м, разрешающая способность 55 нм.

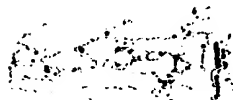
Для конической частицы с тем же диаметром основания 100 нм, с углом при вершине 20° (высота в этом случае составит 285 нм – исходная цилиндрическая частица должна иметь соответствующую высоту) градиент силы магнитного взаимодействия составляет $1,2 \times 10^{-1}$ Н/м, а разрешающая способность 65 нм.

Для конической частицы с диаметром основания 18 нм, углом при вершине 20° , высотой 50 нм градиент силы составляет $2,4 \times 10^{-2}$ Н/м, разрешающая способность 40 нм.

Расчеты показали, что для пленки магнитного материала, осадившегося на нижнюю часть (основание) микрозонда, градиент силы магнитного взаимодействия не превышает 10^{-5} Н/м, т.е. как минимум на 3 порядка величины меньше, чем от вершинной магнитной частицы, так что вклад от нее пренебрежительно мал.

Приготовленная напылением, а затем ионным заострением магнитная частица обычно обладает поликристаллическим строением, причем каждое зерно имеет произвольное направление магнитного момента. Однако, монодоменное острие будет наиболее эффективным микрозондом, поскольку именно оно обладает максимальным магнитным моментом.

Соответственно, следующая операция – монодоменизация. Этого достигают выдерживанием магнитной частицы в постоянном магнитном поле определенного направления. до температуры ниже точки плавления магнитного материала и последующего остывания микрозонда в присутствии магнитного поля. При этом величину поля выбирают больше, чем коэрцитивная сила магнитного материала частицы. В результате создается магнитный микрозонд, изображенный на Фиг. 4.



ЛИТЕРАТУРА

1. P.Grutter, D.Rugar, H.J.Mamin, G.Castillo, S.E.Lambert, C.-J.Lin, R.M.Valletta, O.Wolter, T.Bayer, and J.Greschner, Batch fabricated sensors for magnetic force microscopy, Appl. Phys. Lett. **57**, 1820 (1990).
2. L. Abelman et al, *Analysis of the limit of resolution in magnetic force microscopy using EBID tips*, a paper submitted to Intern. STM Conf., Seoul, Korea, 1999. Ext. Abstr., pp. 477-478.
- 3 P.Leinenbach, U.Memmert, J.Schelten, and U.Hartmann, Fabrication and characterization of advanced probes for magnetic force microscopy, Appl. Surf. Sci. **144-145**, 492-496 (1999).



ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Микрозонд для магнитных измерений, содержащий не-магнитную основу с острием и магнитную частицу на вершине острия, отличающийся тем, что не-магнитная основа образована кремниевым острием, изготовленным из выращенного на кремниевом кантилере с кристаллографической ориентацией (111) нитевидного кристалла, острие имеет ступенчатую форму с нижней частью (основанием) большего диаметра и верхней частью меньшего диаметра, коаксиальной и эпитаксиальной по отношению к нижней части, верхняя часть острия имеет плоскую вершину, на которой расположена монокристаллическая магнитная частица треугольной формы с углом при её вершине от 20° до 90° , причем основание частицы контактирует с плоской вершиной (торцом) кремниевого острия.

2. Микрозонд по п. 1, отличающийся тем, что диаметр нижней части кремниевого острия превосходит диаметр его верхней части не менее чем на порядок величины.

3. Микрозонд по пп. 1 и 2, отличающийся тем, что диаметр нижней части составляет от 5 до 10 микрометров.

4. Микрозонд по пп. 1 – 3, отличающийся тем, что верхняя часть острия имеет цилиндрическую, призматическую, или коническую форму с диаметром менее 100 нанометров и высотой менее 2 микрометров.

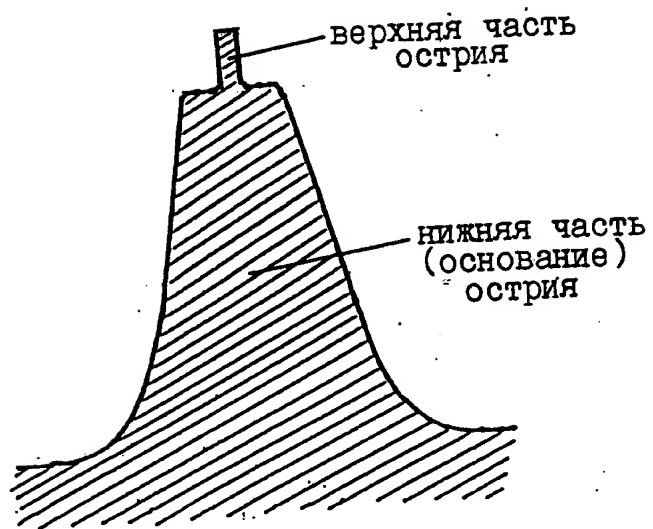
5. Способ изготовления микрозонда для магнитных измерений, включающий создание не-магнитной основы с острием и магнитной частицы на вершине острия, отличающийся тем, что выращивают кремниевое острие ступенчатой формы осаждением из газовой фазы по механизму пар-жидкость-кристалл, удаляют с вершины острия закристаллизовавшуюся глобулу сплава кремния с металлом-растворителем, причем образуется плоская вершина (торец) верхней части острия, напыляют на торец в вакууме вдоль оси острия частицу магнитного материала, заостряют частицу бомбардировкой направленным пучком ускоренных ионов и подвергают её монокристаллизации.

6. Способ по п. 5, отличающийся тем, что монокристаллизацию проводят выдерживанием магнитной частицы в постоянном магнитном поле определенного направления.

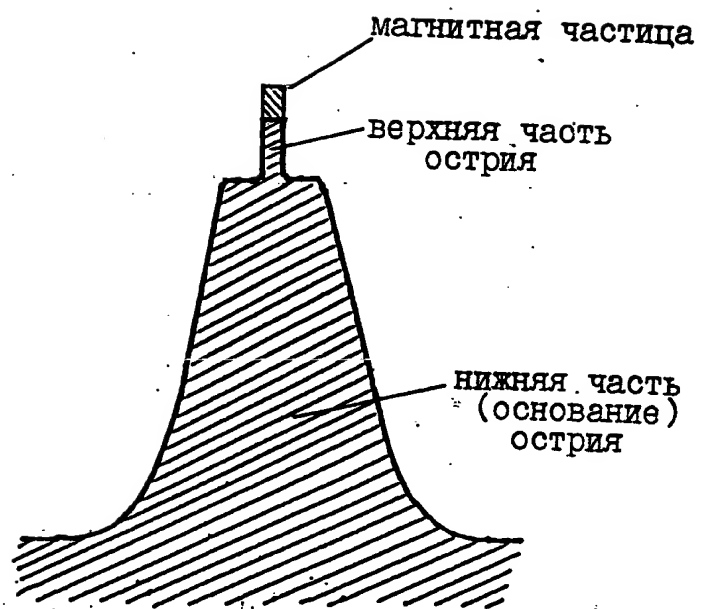
7. Способ по пп. 5 и 6, отличающийся тем, что монокристаллизацию проводят при повышенной температуре магнитной частицы.



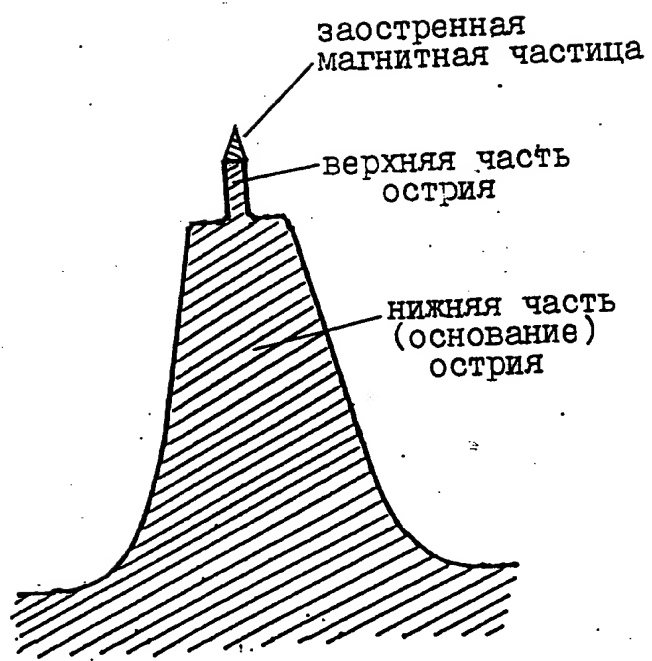
8. Способ по п. 7, отличающийся тем, что нагрев магнитной частицы обеспечивают пропусканием через кремниевое острие автоэмиссионного тока.



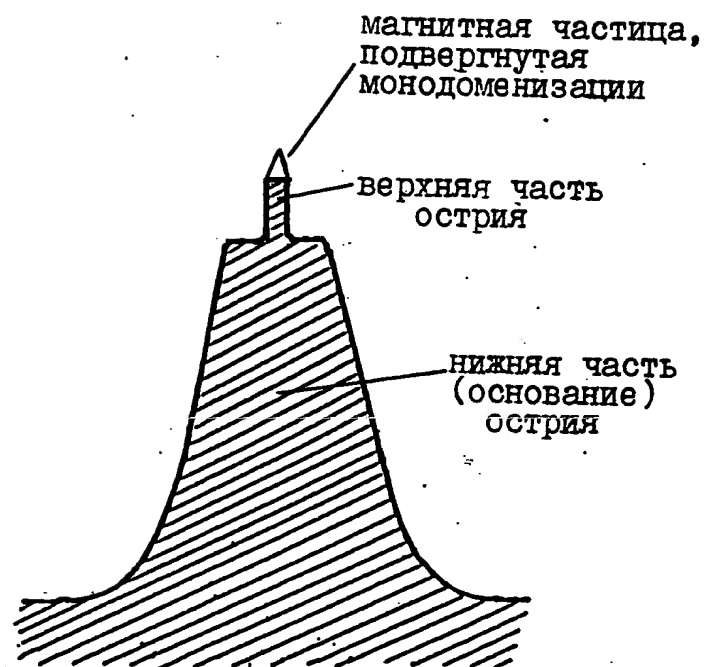
Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

РЕФЕРАТ

Предлагается магнитный микрозонд для сканирующих зондовых приборов, состоящий из не-магнитного материала кремния в виде двухступенчатого острия с плоской вершиной, на которой располагают монокристаллическую магнитную частицу субмикронных размеров. Предлагается способ создания такого микрозонда, который состоит в вакуумном напылении магнитного материала, его обработки посредством ионной бомбардировки и последующей монокристаллизации выдерживанием в постоянном магнитном поле.